

Modifikasi Metode Evaluasi Kesesuaian Lahan Berorientasi Perubahan Iklim

The Modification of Land Evaluation Methods for Oriented Climate Change

Sukarman, Anny Mulyani dan Setiyo Purwanto

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12A, Cimanggu, Bogor 16114. E-mail: sukarmandr@yahoo.co.id

Diterima 15 Mei 2018, Direview 12 Juni 2018, Disetujui dimuat 30 Juni 2018

Abstrak. Evaluasi lahan adalah salah satu instrumen yang biasa digunakan dalam menilai kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian di suatu wilayah. Lahan dapat diklasifikasikan sesuai untuk pengembangan komoditas tertentu jika secara biofisik maupun secara sosial ekonomi tergolong sesuai. Parameter yang digunakan dalam menilai suatu lahan adalah karakteristik lahan, di antaranya adalah unsur iklim, yaitu curah hujan rata-rata tahunan, temperatur udara rata-rata tahunan dan kelembaban udara. Tujuan dari makalah ini adalah untuk memberikan saran dan rekomendasi untuk menambahkan parameter pada karakteristik lahan yang digunakan dalam penilaian kesesuaian lahan berbagai komoditas pertanian sebagai akibat dari perubahan iklim. Saat ini di dunia telah terjadi perubahan iklim yang berdampak pada karakteristik lahan di suatu wilayah. Umumnya, perubahan iklim dianggap sebagai salah satu ancaman yang sangat serius terhadap sektor pertanian dan berpotensi mendatangkan masalah baru bagi keberlanjutan produksi pangan dan sistem produksi pertanian. Secara umum, perubahan iklim akan menyebabkan terjadinya ancaman kekeringan, banjir dan kenaikan muka air laut. Hal tersebut berdampak terhadap penyusutan dan degradasi (penurunan fungsi dan kualitas) sumberdaya lahan, air dan infrastruktur irigasi. Kejadian tersebut menyebabkan terjadinya penurunan pertumbuhan serta produksi tanaman. Oleh karena itu faktor kerentanan kekeringan, kerentanan banjir dan kenaikan permukaan air laut diusulkan untuk dijadikan parameter penilaian kesesuaian lahan agar hasil penilaian kesesuaian lahan sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Kata Kunci: *Evaluasi lahan / metode evaluasi lahan / karakteristik lahan / perubahan iklim*

Abstract. Land evaluation is one of the instruments commonly used in land suitability assessment for various agricultural commodities in a region. Land can be classified suitable for the development of certain commodities if it is biophysically and socio-economically appropriate. The parameters used in assessing land suitability are the characteristics of the land, including the elements of climate, namely annual average rainfall, annual average air temperature and air humidity. The objective of this paper is to provide advices and recommendations for adding parameters on land characteristics used in the assessment of land suitability of various agricultural commodities as caused of climate change. At present, the world climate change has occurred which has an impact on the characteristics of land in a region. Generally, climate change is considered to be one of the most serious threats to the agricultural sector and has the potential to bring new problems to the sustainability of food production and agricultural production systems. In general, climate change may cause threats in the droughts, floods and sea level rise. This could have an impact on reduction and degradation (decreased function and quality) of land resources, water and irrigation infrastructure. This situation caused a decrease in plant growth and production. Therefore, factors of drought susceptibility, flood vulnerability and sea level rise are proposed to be used as parameters for land suitability evaluation in order to determine land suitability which represent actual conditions.

Keywords: *Land evaluation / land evaluation methods / land characteristics / climate change*

PENDAHULUAN

Dalam upaya mendapatkan lahan-lahan yang sesuai bagi pengembangan komoditas pertanian diperlukan suatu instrumen yang secara ilmiah dapat dipertanggung jawabkan. Salah satu instrumen yang digunakan adalah pendekatan evaluasi lahan, yaitu suatu penilaian yang memberikan informasi potensi dan atau penggunaan lahan serta harapan produksi yang mungkin diperoleh serta penggunaan lahan yang ramah lingkungan

(Sukarman 2015). Lahan dapat dikatakan sesuai untuk pengembangan komoditas tertentu jika secara biofisik maupun secara sosial ekonomi tergolong sesuai. Salah satu metode yang sering digunakan untuk memilih lahan dengan pertimbangan biofisik lahan dan sosial ekonomi adalah kesesuaian lahan. Kesesuaian lahan adalah kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu (Ritung *et al.* 2011). Secara spesifik, kesesuaian lahan adalah kesesuaian sifat-sifat fisik lingkungan, yaitu iklim, tanah, topografi, hidrologi dan atau drainase untuk usaha tani atau komoditas tertentu yang

produktif, berwawasan lingkungan dan memperhatikan dampak perubahan iklim.

Iklim merupakan salah satu karakteristik lahan yang digunakan dalam penilaian kesesuaian lahan. Unsur iklim yang digunakan antara lain : temperatur udara, curah hujan dan kelembaban udara. Data iklim yang digunakan biasanya bersumber dari hasil pengumpulan data selama 10 tahun atau lebih. Saat ini, didunia sedang terjadi perubahan iklim, yang salah satu kejadiannya adalah adanya perubahan *onset* musim hujan dan musim kemarau yang berpengaruh terhadap penyediaan air bagi tanaman. Peningkatan intensitas dan durasi hujan berpengaruh terhadap peningkatan erosi, pencucian hara, dan banjir. Musim kemarau yang panjang berakibat pada terbatasnya pilihan tanaman yang dapat ditanam, bahkan dapat menyebabkan kekeringan, gagal panen dan peningkatan bahaya kebakaran terutama di lahan gambut. Peningkatan suhu udara dapat menurunkan produksi pertanian dan meningkatkan serangan hama dan penyakit tanaman. Dengan demikian sebenarnya sektor pertanian merupakan sektor yang menjadi korban (*victim*) dari perubahan iklim. Oleh karena itu dalam perencanaan pertanian termasuk penilaian kesesuaian lahan, dampak perubahan iklim akan menjadi faktor penghambat yang harus dipertimbangkan.

Evaluasi kesesuaian lahan di Indonesia saat ini berkembang dari evaluasi lahan berdasarkan kerangka dari FAO (1976). Selanjutnya metode ini dikembangkan oleh Pusat Penelitian Tanah disesuaikan dengan karakteristik lahan dan persyaratan tumbuh berbagai komoditas yang ada di Indonesia untuk memilih jenis komoditas yang dapat dikembangkan di suatu wilayah. Jenis komoditas yang sudah diketahui persyaratan tumbuhnya di daftar dengan jumlah komoditas yang terus berkembang. Kelompok komoditas yang dimaksud meliputi tanaman pangan lahan basah (padi sawah), tanaman pangan lahan kering, tanaman hortikultura dataran rendah, tanaman hortikultura dataran tinggi, tanaman perkebunan dataran rendah, tanaman perkebunan dataran tinggi, dan tanaman kehutanan. Dalam penilaian kesesuaian lahan tersebut di atas, faktor penghambat akibat perubahan iklim belum dipertimbangkan. Oleh karena itu dalam karakteristik lahan yang digunakan selayaknya ditambah dengan karakteristik lahan yang disebabkan oleh dampak perubahan iklim. Dengan demikian dalam rekomendasi penggunaan lahannya akan dapat dilakukan upaya adaptasi perubahan iklimnya.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memberikan masukan dan rekomendasi penambahan karakteristik lahan sebagai pengaruh/akibat dari perubahan iklim yang digunakan dalam penilaian kesesuaian lahan berbagai komoditas pertanian.

SISTEM EVALUASI LAHAN DAN KARAKTERISTIK IKLIM

Sistem Evaluasi Lahan Saat Ini

Sistem evaluasi lahan yang berkembang selama ini, menggunakan berbagai pendekatan antara lain sistem perkalian parameter, penjumlahan dan sistem *matching* atau mencocokkan antara kualitas/karakteristik lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman (Ritung *et al.* 2011). Beberapa sistem evaluasi lahan yang pernah digunakan dan sedang dikembangkan di Indonesia antara lain :

1. Klasifikasi Kemampuan Lahan (Soepraptohardjo 1970).
2. Klasifikasi Kemampuan Lahan (Arsyad 2010).
3. Sistem evaluasi lahan pada Proyek Penelitian Pertanian Menunjang Transmigrasi (Staf Peneliti Pusat Penelitian Tanah 1983).
4. Sistem evaluasi lahan pada *Reconnaissance Land Resources Surveys, Atlas Format Procedures* (CSR/FAO 1983).
5. *Land Evaluation Computer System* atau LECS (Wood dan Dent 1983)
6. *Automated Land Evaluasi System* atau ALES (Rossiter dan van Wambeke 1997).
7. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian (Djaenuddin *et al.* 2003)
8. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian (Ritung *et al.* 2011)
9. Sistem Penilaian Kesesuaian Lahan atau SPKL (Bachri *et al.* 2016)

Menurut Ritung dan Sukarman (2014) dalam penilaian kesesuaian lahan ada tiga faktor utama yang harus dipertimbangkan, yaitu: kebutuhan atau persyaratan tumbuh tanaman (*crop requirements*), kebutuhan atau persyaratan pengelolaan (*management requirements*) dan kebutuhan atau persyaratan konservasi (*consevation requirements*). Ketiga faktor utama tersebut dicerminkan dalam kualitas dan karakteristik lahan (Tabel 1). Dari tabel tersebut terlihat bahwa kualitas/karakteristik lahan yang digunakan

semata-mata berorientasi kepada upaya peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman, ramah lingkungan (terutama erosi) tetapi belum mempertimbangkan upaya adaptasi perubahan iklim. Diharapkan dengan adanya penambahan kualitas/karakteristik yang berkaitan dengan risiko perubahan iklim, maka rekomendasi penggunaan lahannya akan menyertakan upaya adaptasi perubahan iklim.

Karakteristik/kualitas lahan yang digunakan dalam evaluasi kesesuaian lahan merupakan parameter yang berkaitan dengan persyaratan tumbuh tanaman. Meskipun dalam karakteristik lahan tersebut di atas sudah ada unsur iklim yaitu curah hujan dan temperatur, tetapi belum menyertakan kejadian-kejadian iklim yang disebabkan oleh dampak perubahan iklim seperti risiko kekeringan dan banjir (Tabel 1).

Tabel 1. Kualitas/Karakteristik lahan yang digunakan dalam Evaluasi Lahan (Ritung *et al.* 2011)

Table 1. The quality of land/the characteristics of land used in a land evaluation (Ritung *et al.* 2011)

No.	Kualitas Lahan	Karakteristik Lahan
1.	Temperatur (tc)	- Temperatur rata-rata tahunan (°C)
2.	Ketersediaan air (wa)	- Curah hujan (mm) - Kelembaban udara (%)
3.	Ketersediaan oksigen (oa)	- Drainase
4.	Media perakaran (rc)	- Tekstur - Bahan kasar (%) - Kedalaman efektif (cm) - Kematangan gambut - Ketebalan gambut (cm)
5.	Retensi hara (nr)	- KTK tanah (me/100 g) - Kejenuhan Basa (%) - pH tanah - C organik (%)
6.	Hara tersedia (na)	- N total (%) - P ₂ O ₅ (mg/100 g) - K ₂ O (mg/100 g)
7.	Toksisitas (xc)	- Salinitas (mmhos/cm)
8.	Sodisitas (xn)	- Alkalinitas (%)
9.	Bahaya sulfidik (xs)	- Kedalaman sulfidik (cm)
10.	Tingkat bahaya erosi (eh)	- Lereng (%) - Bahaya erosi (cm/tahun) - Kedalaman tanah (cm)
11.	Bahaya longsor (lh)	- Lereng (%) - Bahaya longsor
12.	Bahaya banjir/genangan (fh)	- Genangan (cm/bulan)
13.	Penyiapan lahan (lp)	- Batuan di permukaan (%) - Singkapan batuan (%)

Unsur Iklim Sebagai Karakteristik Lahan

Dalam menilai kesesuaian lahan, karakteristik lahan yang berkaitan dengan faktor iklim adalah temperatur, ketersediaan air berupa jumlah bulan kering, curah hujan rata-rata tahunan dan curah hujan pada masa pertumbuhan. Data karakteristik iklim berasal dari hasil pengukuran selama beberapa tahun (biasanya digunakan data hasil pengukuran lebih dari 10 tahun). Dengan demikian data yang digunakan merupakan data aktual terkini, tetapi belum memperkirakan kemungkinan adanya perubahan iklim akibat pemanasan global.

Data temperatur udara yang digunakan sebagai karakteristik lahan adalah temperatur udara rata-rata tahunan. Temperatur udara merupakan unsur iklim yang berpengaruh terhadap proses metabolisme tanaman yang menentukan produktivitas tanaman. Oleh karena itu temperatur udara dijadikan karakteristik lahan yang berkaitan dengan persyaratan tumbuh tanaman. Data temperatur udara tidak selalu tersedia pada setiap tempat karena keterbatasan stasiun pencatat. Oleh karena itu temperatur udara dapat diduga dari ketinggian tempat (elevasi) dari permukaan laut menggunakan rumus Braak (1928 dalam Ritung *et al.* 2011). Temperatur udara merupakan unsur yang sangat rentan terhadap perubahan iklim, oleh karena itu unsur ini perlu dilakukan prediksi-prediksi untuk menduga kemungkinan terjadinya kenaikan suhu udara.

Curah hujan merupakan karakteristik lahan yang digunakan sebagai salah satu persyaratan tumbuh tanaman, karena curah hujan merupakan salah satu unsur yang menentukan ketersediaan air di dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman. Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan rata-rata tahunan dan jumlah bulan basah dan bulan kering. Bulan basah yang digunakan adalah data berdasarkan kriteria dari Oldeman (1975) yaitu bulan yang mempunyai rata-rata curah bulanan lebih dari 200 mm/bulan, sedangkan bulan kering adalah bulan yang mempunyai rata-rata curah hujan kurang dari 100 mm/bulan. Namun demikian seringkali data curah hujan di suatu tempat tidak tersedia karena tidak adanya stasiun pengamat curah hujan atau pengamat iklim.

Di Indonesia stasiun pengamat iklim ditempatkan berdasarkan kebutuhan instansi pengelolaannya. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menempatkan stasiun pengamat

iklim di dekat Bandar Udara (Bandara) untuk kebutuhan transportasi dan perhubungan. Kementerian Pekerjaan Umum menempatkan stasiun penakar hujan dekat dengan saluran irigasi atau waduk. Kementerian Pertanian menempatkan stasiun pengamat iklim di sentra produksi pangan, hortikultura dan perkebunan. Secara keseluruhan penempatan stasiun pengamat iklim atau curah hujan belum merata sesuai dengan kebutuhan, terutama sangat kurang ketika dibutuhkan untuk penilaian kesesuaian lahan pada wilayah yang belum berkembang.

Runtunuwu (2013) mengemukakan bahwa kerapatan jaringan pengamatan curah hujan/iklim di Indonesia belum memenuhi kebutuhan ideal terutama di sentra-sentra pertanian, sehingga perlu ditingkatkan kerapatannya. Penggunaan alat ukur otomatis semakin kedepan semakin diperlukan dalam upaya meningkatkan kerapatan jaringan stasiun cuaca di sentra pertanian. Alat ukur otomatis ini sebagian besar komponennya bersifat elektrik dan cukup peka terhadap perubahan cuaca dan gangguan komunikasi. Dengan demikian perlu ada suatu subsistem standarisasi atau subsistem kalibrasi yang mampu mengontrol kualitas dan ketepatan hasil pengamatan yang tetap terjaga baik. Peningkatan kerapatan jaringan stasiun cuaca di sentra pertanian juga mengakibatkan semakin cepatnya jumlah data yang terkompilasi di komputer penerima. Kondisi ini perlu diimbangi dengan subsistem pengelolaan data yang cepat, serta subsistem penyajian informasi hasil pengamatan dan hasil pengolahan data yang *real time* dan cepat saji.

Evaluasi kesesuaian lahan berdasarkan *Framework of Land Evaluation* (FAO 1976) menggunakan 4 kategori dalam struktur klasifikasinya, yaitu ordo, kelas, sub kelas dan unit. Uraian mengenai kategori kesesuaian lahannya adalah sebagai berikut :

Ordo: Menggambarkan kesesuaian lahan secara umum. Pada tingkat ordo dibagi menjadi Ordo Sesuai (S) dan Ordo tidak sesuai (N).

Kelas: Menggambarkan tingkat kesesuaian lahan dalam ordo. Pada tingkat kelas, lahan yang tergolong sesuai dibedakan atas lahan sangat sesuai (S1), cukup sesuai (S2), dan sesuai marginal (S3). Sedangkan lahan tergolong ordo tidak sesuai (N) tidak dibedakan.

Subkelas: Menggambarkan tingkat kesesuaian lahan dalam kelas. Kelas kesesuaian lahan dapat dibedakan atas sub kelas kesesuaian lahan berdasarkan kualitas dan karakteristik lahan yang menjadi faktor

pembatas terberat. Tergantung pengaruh faktor pembatas dalam subkelas, kelas kesesuaian lahan yang dihasilkan dapat diperbaiki sesuai dengan masukan yang diperlukan.

Unit: Menggambarkan tingkat kesesuaian lahan dalam subkelas yang didasarkan pada sifat tambahan yang berpengaruh terhadap pengelolaannya. Contoh, kelas S3r1 dan S3r2, keduanya mempunyai memmpunyai kelas dan sub kelas sama dengan faktor pembatas sama, yaitu kedalaman efektif.

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PARAMETER KARAKTERISTIK LAHAN DAN TANAMAN

Dampak Perubahan Iklim terhadap Karakteristik Lahan

Menurut Faqih dan Boer (2013) salah satu gejala yang muncul akibat perubahan iklim adalah terjadinya iklim ekstrem yaitu kondisi iklim yang jauh berbeda dengan kondisi iklim normal. Pada kondisi iklim ekstrem parameter iklim seperti temperatur dan curah hujan dapat naik dan turun secara nyata dibandingkan kondisi iklim normal.

Adanya kejadian iklim ekstrem dapat menyebabkan berbagai risiko yang secara langsung berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik sumberdaya tanah/lahan dan tanaman. Menurut Kartiwa *et al.* (2013) salah satu risiko dari terjadinya iklim ekstrem adalah risiko penurunan ketersediaan air, risiko banjir, risiko kekeringan, risiko tanah longsor, dan intrusi air laut. Semua kejadian tersebut akan semakin sering terjadi pada lahan sawah, yang menyebabkan berkurangnya luas areal panen dan produksi padi. Kerusakan akibat derasnya arus banjir terutama pada kejadian banjir bandang, dapat menyebabkan erosi dan penggerusan pada lahan pertanian. Selain itu curah hujan yang berlebihan dapat juga menyebabkan terjadi erosi dipercepat yang melebihi nilai erosi yang dapat ditoleransikan. Kekeringan akibat kejadian iklim ekstrem, selain akan menyebabkan terganggunya pertanian di lahan sawah, lahan kering, adalah keringnya lahan gambut pertanian maupun non pertanian. Gambut yang kering dengan mudah dapat terbakar baik secara tidak disengaja maupun disengaja yang berujung sulitnya pengendalian kebakaran lahan gambut. Salah satu akibat dari

kejadian iklim ekstrem adalah ancaman banjir yang semakin sering terjadi pada lahan sawah, yang menyebabkan berkurangnya luas areal panen dan produksi padi. Kerusakan akibat derasnya arus banjir terutama pada kejadian banjir bandang, dapat menyebabkan erosi dan penggerusan pada lahan pertanian.

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah terjadinya kenaikan tinggi muka laut (TML) baik secara langsung maupun tidak langsung. Kenaikan TML dipengaruhi oleh penambahan masa air karena mencairnya es di *Greenland* dan Antartika serta es glasier dan bertambahnya volume air karena ekspansi termal dengan massa air tetap, yang disebabkan oleh naiknya suhu air laut (Sofian dan Nabib 2010). Kenaikan TML tersebut menyebabkan sebagian daerah pesisir akan tergenang dan intrusi air laut akan semakin meluas ke lahan-lahan pertanian di dekat pantai sehingga tanah bersifat salin. Menurut *Commitee of the Soil Science Society of America* (Strawn *et al.* 2015) tanah salin adalah tanah yang banyak mengandung garam dan dicirikan oleh nilai *Electrical Conductivity* (EC) ≥ 2 dS/m atau lebih dalam larutan tanah. Sementara itu Van Wambeke dan Forbes (1986) mengemukakan bahwa tanah salin atau tanah bergaram dicirikan oleh nilai persen natrium dapat ditukar (ESP, *exchangable sodium precentage*) $> 15\%$ atau nilai bandingan adsorpsi natrium (SAR, *sodium adsorption ratio*) > 13 . Selanjutnya Sukarman *et al.* (1998) mengemukakan bahwa pada tanah salin sebagian besar tanaman budidaya tidak bisa hidup dengan baik. Hal tersebut disebabkan karena tekanan osmotik tanah sangat tinggi dan tingginya kandungan klorida (Cl) yang bersifat toksik bagi tanaman.

Dari uraian di atas menunjukkan bahwa dampak perubahan iklim karena meningkatnya intensitas banjir, kekeringan, erosi, serta meluas dan meningkatnya tanah salin sangat berpengaruh besar terhadap kualitas/karakteristik lahan. Dari 13 kualitas lahan yang dijadikan dasar penyusunan kesesuaian lahan seperti yang tercantum dalam Tabel 1, semuanya dapat berubah karena dampak perubahan iklim baik dalam jangka pendek maupun dalam jangka panjang. Perubahan tersebut sebagian besar berdampak terhadap penurunan kualitas lahan.

Yustika dan Agus (2014) menyatakan bahwa meningkatnya suhu dan kelembaban tanah dapat mempercepat dekomposisi residu tanaman karena

meningkatnya aktivitas mikroba. Namun peningkatan suhu udara juga dapat mempercepat pertumbuhan dan kematangan tanaman. Di sisi lain tanaman juga dapat mengalami stres karena suhu meningkat secara ekstrem sehingga metabolisme terganggu. Kelembaban tanah yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mengganggu pertumbuhan akar dan ketersediaan hara.

Perubahan iklim dapat meningkatkan curah hujan yang tinggi sehingga menyebabkan erosi dipercepat. Kejadian erosi mengakibatkan terangkutnya tanah berukuran liat dan humus yang kaya akan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Menurut Sudirman *et al.* (1986) bahwa hilangnya lapisan atas tanah dapat menyebabkan penurunan kadar bahan organik, peningkatan kepadatan tanah, penurunan stabilitas agregat tanah peningkatan kejenuhan aluminium serta menurunkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Kejadian erosi yang semakin sering dapat menurunkan kadar bahan organik dan unsur hara, sehingga menurunkan kualitas lahan/tanah yang pada akhirnya menurunkan produktivitas lahan/tanah.

Uraian tersebut di atas menggambarkan bahwa perubahan iklim menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik lahan yang juga menyebabkan perubahan terhadap kesesuaian lahannya. Perubahan iklim dianggap sebagai salah satu ancaman yang sangat serius terhadap sektor pertanian dan potensial mendatangkan masalah baru bagi keberlanjutan produksi pangan dan sistem produksi pertanian pada umumnya. Secara umum, perubahan iklim akan berdampak terhadap penciptaan dan degradasi (penurunan fungsi) sumberdaya lahan, air dan infrastruktur terutama irigasi, yang menyebabkan terjadinya ancaman kekeringan atau banjir. Oleh karena itu dalam menilai kelas kesesuaian lahan, maka unsur yang disebabkan karena perubahan iklim harus menjadi karakteristik lahan yang dijadikan faktor pembatas disamping faktor pembatas yang ada seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

Kerentanan Tanaman Terhadap Perubahan Iklim

Perubahan iklim dampaknya telah dirasakan oleh berbagai sektor di berbagai tempat dunia sejak permulaan tahun dua ribuan. Hal ini dapat diamati bahwa curah hujan maksimum terjadi antara bulan Desember sampai Pebruari. Dalam kondisi ini, matahari berada di selatan garis khatulistiwa sehingga

udara di atas Australia bagian selatan mengalami tekanan rendah sedangkan di Asia mengalami tekanan tinggi. Akibatnya, udara bergerak di atas laut dengan jarak yang cukup jauh sehingga arus udara dapat membawa sejumlah besar uap air. Akibatnya, wilayah tertentu melewati Monsoon barat akan mengalami hujan. Karena bagian barat atau angin timur Monsoon mempengaruhi pembentukan pola curah hujan di beberapa daerah di Indonesia, perubahan yang diharapkan terjadi dalam bentuk jumlah curah hujan, intensitas dan durasinya. Hal tersebut menyebabkan curah hujan rata-rata tahunan dilaporkan berkurang di wilayah Indonesia bagian selatan dan meningkat di bagian utara (IPCC, 2001).

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011) menyatakan bahwa, sektor pertanian, subsektor tanaman pangan, paling rentan terhadap pola curah hujan, karena tanaman pangan umumnya merupakan tanaman semusim yang sensitif terhadap cekaman air. Secara teknis, kerentanan tanaman pangan sangat berhubungan dengan sistem penggunaan lahan dan sifat tanah, pola tanam, teknologi pengelolaan tanah, air, tanaman dan varietas. Oleh sebab itu, kerentanan tanaman pangan terhadap pola curah hujan akan berimbas pada luas areal tanam dan panen, produktivitas dan kualitas hasil.

Menurut Irawan (2013) kegagalan produksi tanaman pangan akibat kekurangan air atau kekeringan merupakan dampak El Nino yang umum terjadi. Sebaliknya kejadian La Nina biasanya menyebabkan kegagalan produksi pangan melalui pengaruhnya terhadap kerusakan tanaman yang disebabkan oleh kelebihan air atau banjir dan meningkatnya gangguan hama dan penyakit. Kerusakan tanaman tersebut, baik yang disebabkan oleh kekeringan/banjir atau gangguan hama dan penyakit, biasanya lebih parah pada tanaman muda dibanding dengan tanaman dewasa. Dengan demikian maka potensi dampak El Nino dan La Nina terhadap produksi tanaman pangan bergantung pada saat kejadiannya, apakah anomali iklim tersebut terjadi pada saat tanaman masih muda atau telah mencapai tahap dewasa. Gambaran mengenai areal tanaman yang kekeringan dan banjir akibat kejadian El Nino dan La Nina di Indonesia disajikan dalam Gambar 1.

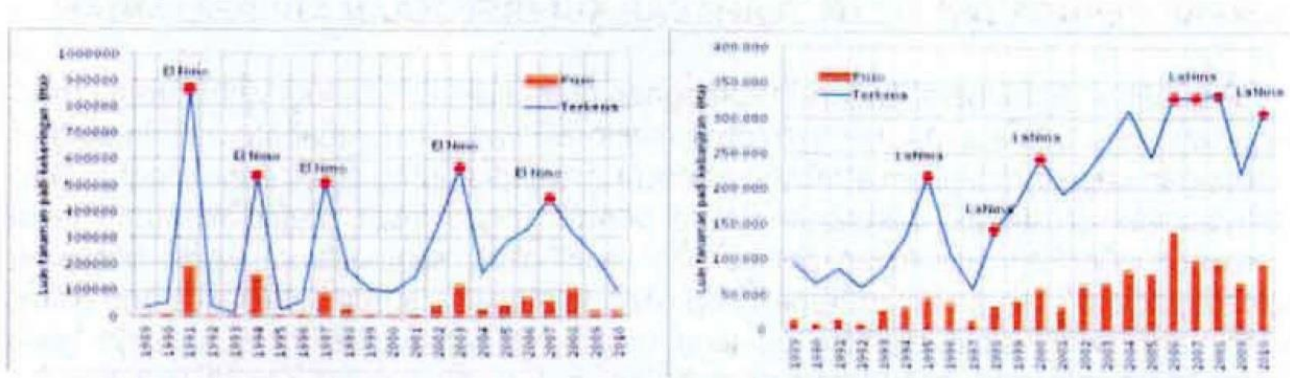
Kerentanan Tanaman Terhadap Perubahan Iklim

Perubahan iklim dampaknya telah dirasakan oleh berbagai sektor di berbagai tempat dunia sejak

permulaan tahun dua ribuan. Hal ini dapat diamati bahwa curah hujan maksimum terjadi antara bulan Desember sampai Pebruari. Dalam kondisi ini, matahari berada di selatan garis khatulistiwa sehingga udara di atas Australia bagian selatan mengalami tekanan rendah sedangkan di Asia mengalami tekanan tinggi. Akibatnya, udara bergerak di atas laut dengan jarak yang cukup jauh sehingga arus udara dapat membawa sejumlah besar uap air. Akibatnya, wilayah tertentu melewati Monsoon barat akan mengalami hujan. Karena bagian barat atau angin timur Monsoon mempengaruhi pembentukan pola curah hujan di beberapa daerah di Indonesia, perubahan yang diharapkan terjadi dalam bentuk jumlah curah hujan, intensitas dan durasinya. Hal tersebut menyebabkan curah hujan rata-rata tahunan dilaporkan berkurang di wilayah Indonesia bagian selatan dan meningkat di bagian utara (IPCC, 2001).

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011), sektor pertanian, subsektor tanaman pangan, paling rentan terhadap pola curah hujan, karena tanaman pangan umumnya merupakan tanaman semusim yang sensitif terhadap cekaman air. Secara teknis, kerentanan tanaman pangan sangat berhubungan dengan sistem penggunaan lahan dan sifat tanah, pola tanam, teknologi pengelolaan tanah, air, tanaman dan varietas. Oleh sebab itu, kerentanan tanaman pangan terhadap pola curah hujan akan berimbas pada luas areal tanam dan panen, produktivitas dan kualitas hasil.

Menurut Irawan (2013) kegagalan produksi tanaman pangan akibat kekurangan air atau kekeringan merupakan dampak El Nino yang umum terjadi. Sebaliknya kejadian La Nina biasanya menyebabkan kegagalan produksi pangan melalui pengaruhnya terhadap kerusakan tanaman yang disebabkan oleh kelebihan air atau banjir dan meningkatnya gangguan hama dan penyakit. Kerusakan tanaman tersebut, baik yang disebabkan oleh kekeringan/banjir atau gangguan hama dan penyakit, biasanya lebih parah pada tanaman muda dibanding dengan tanaman dewasa. Dengan demikian maka potensi dampak El Nino dan La Nina terhadap produksi tanaman pangan bergantung pada saat kejadiannya, apakah anomali iklim tersebut terjadi pada saat tanaman masih muda atau telah mencapai tahap dewasa. Gambaran mengenai areal tanaman yang kekeringan dan banjir akibat kejadian El Nino dan La Nina di Indonesia disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Luas areal pertanian padi yang dilanda kekeringan (kiri) dan banjir (kanan) di Indonesia pada periode 1989-2010 (Sumber: Diklin Tanaman Pangan dalam Kertiwa *et al.* 2013)

Figure 1. The area of rice plantations that experienced drought (left) and flood (right) in Indonesia in the period 1989-2010 (Source: Diklin Tanaman Pangan *In* Kertiwa *et al.* 2013)

Dampak perubahan iklim secara ekstrem tidak hanya mengganggu produksi beras, tapi juga hortikultura dan palawija. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011) mengemukakan bahwa sebagian tanaman hortikultura dan palawija terancam rusak akibat perubahan iklim, misalnya cabai dan bawang merah di beberapa sentra produksi. Oleh karena itu, antisipasi dapat diupayakan melalui pembuatan parit yang lebih dalam untuk mencegah tanaman dari rendaman air. Namun demikian di sisi lain diperoleh keterangan bahwa perubahan iklim berdampak positif bagi pertanian. Pada kasus kekeringan 2009, misalnya terjadi penurunan serangan hama penyakit pada bawang merah, kangkung, sawi, kentang, kacang panjang, cabai rawit dan cabai merah. Hal yang serupa dialami oleh komoditas buah buahan, berbunga serentak, lebat dan waktu berbunga maju, khususnya mangga dan jambu air dan menghasilkan buah berkualitas tinggi, karena tidak adanya serangan hama penyakit.

Untuk tanaman perkebunan, dampak perubahan iklim terlihat menonjol untuk komoditas kelapa sawit, karet dan kakao yaitu menurunnya produksi yang disebabkan oleh perubahan pola curah hujan dan kejadian iklim ekstrem. Kekeringan sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan kualitas hasil kelapa sawit, karet, kopi dan tebu. Dampak kekeringan nyata menurunkan produksi tandan sawit. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011) apabila kelapa sawit mengalami defisit air 200-300 mm/tahun maka produksi tandan buah segar (TBS) menurun sebesar 21-32% dan apabila mengalami defisit lebih dari

500 mm/tahun, maka penurunan produksi TBS dapat mencapai 60%.

Karakteristik Lahan Tambahan untuk Penilaian Kesesuaian Lahan

Dalam menilai kesesuaian lahan, karakteristik lahan yang digunakan saat ini berjumlah 25 buah (Ritung *et al.* 2011). Dengan adanya perubahan iklim tersebut, setidaknya diperlukan tambahan 3 karakteristik lahan untuk menilai kesesuaian lahannya, yaitu Kerentanan Kekeringan, Kerentanan Banjir, dan Kerentanan Kenaikan muka air laut atau rob. Data kerentanan tersebut berupa peta-peta, sesuai dengan skala yang dinilai kesesuaian lahannya.

Kerentanan Kekeringan

Salah satu kejadian iklim ekstrem akibat terjadinya perubahan iklim adalah adanya El Nino. El Nino umumnya berasosiasi dengan penurunan curah hujan yang menyebabkan kekeringan di sebagian wilayah Indonesia dan pengaruhnya hanya signifikan pada musim kemarau dan musim transisi (Surmaini *et al.* 2015). Sementara itu Boer *et al.* (2014) mengemukakan bahwa meningkatnya 1°C suhu permukaan laut di wilayah El Nino menyebabkan penurunan curah hujan bulanan di wilayah Indonesia berkisar dari 0 – 50 mm. Dampak tersebut lebih kuat di sebagian Pulau Kalimantan, Sulawesi, sebagian Pulau Jawa dan Papua dengan penurunan curah hujan sebesar 20-40 mm, sedangkan di pulau lain penurunannya kurang dari 20 mm.

Akibat kejadian El Nino yang kuat pada tahun 1997 di Indonesia, menyebabkan kerusakan dan puso tanaman padi. Kejadian El Nino pada tahun tersebut menyebabkan tanaman padi yang kekeringan seluas 513 ha. Namun pada kejadian El Nino dengan intensitas lemah tanaman padi yang mengalami kekeringan meliputi areal seluas 870 ha (tahun 1991), 539 ha (tahun 1994) dan seluas 538 ha pada tahun 2003 (Surmaini *et al.* 2015).

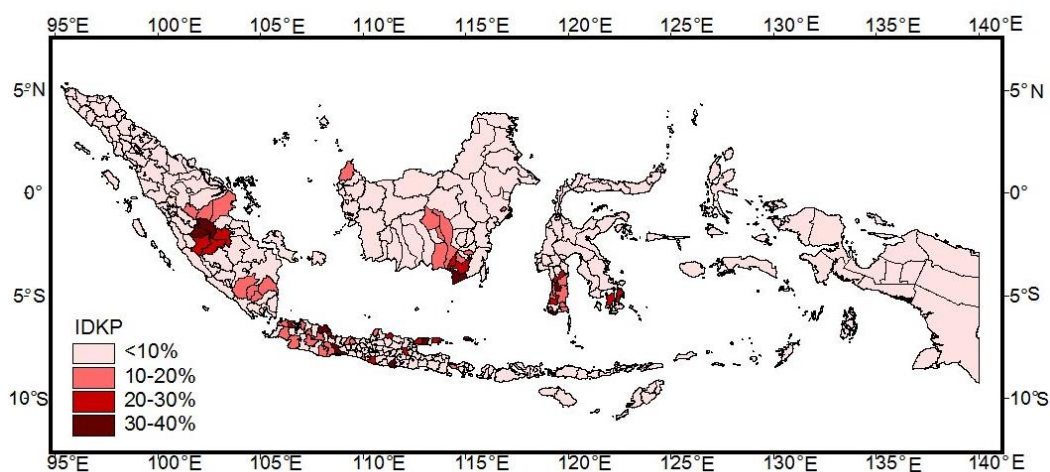
Berbagai hasil penelitian menyebutkan bahwa akibat dari perubahan iklim menyebabkan beberapa daerah di Indonesia sangat rentan terhadap kekeringan. Wahyunto (2005) menyebutkan bahwa sawah-sawah di beberapa tempat di Pulau Sumatera dan Pulau Jawa sangat rentan terhadap kekeringan. Dari lahan sawah baku di Pulau Jawa dan Sumatera seluas 5.143.602 ha, 1.090.964 ha diantaranya tergolong rentan dan 73.881 ha tergolong sangat rentan. Sementara itu Badan Litbang Pertanian (2011) mengemukakan bahwa pada periode 1991 – 2006, luas tanaman padi yang dilanda kekeringan berkisar antara 28.580-867.930 ha per tahun dengan puso antara 4.614 – 192.331 ha.

Data yang ada tersebut merupakan data tabular, sedangkan untuk keperluan penilaian kesesuaian lahan diperlukan data dalam bentuk spasial. Surmaini *et al.* (2015) telah menyusun Peta Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) untuk seluruh Indonesia berbasis kabupaten. Berdasarkan peta tersebut bahwa daerah yang paling rawan mengalami kerusakan

tanaman padi akibat kekeringan adalah Provinsi Jawa Barat dan Sulawesi Selatan. Peta ini dapat digunakan sebagai data untuk mengklasifikasikan kesesuaian lahan dengan faktor pembatas risiko kekeringan.

Kerentanan Banjir

Salah satu risiko dari terjadinya iklim ekstrem adalah risiko penurunan ketersediaan air, risiko banjir, risiko kekeringan, risiko tanah longsor, dan intrusi air laut. Salah satu bentuk kejadian dalam iklim ekstrem adalah sering terjadinya hujan ekstrem dalam waktu lama. Menurut Sutrisno *et al.* (2013) terjadinya hujan ekstrem dengan waktu lama akan menyebabkan tidak tertampungnya aliran air permukaan dalam jumlah yang sangat banyak yang selanjutnya masuk ke sungai dan menyebabkan banjir. Banjir yang terjadi akan menyebabkan kerugian khususnya bagi sektor pertanian karena rusaknya pertanaman yang terkena banjir. Ancaman banjir yang merupakan dampak dari perubahan iklim, semakin sering terjadi, khususnya pada lahan sawah. Menurut Boer (dalam Sutrisno *et al.* 2013) bencana banjir yang terjadi dalam periode yang relatif pendek yaitu antara tahun 2001-2004, telah terjadi 530 kali banjir dan jumlah daerah yang mengalami banjir cenderung meningkat. Bencana banjir demikian menyebabkan berkurangnya luas areal panen dan produksi padi.



Gambar 2. Peta Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) seluruh Indonesia yang menunjukkan kerusakan tanaman padi akibat kekeringan adalah Provinsi Jawa Barat dan Sulawesi Selatan (Sumber: Surmaini *et al.* 2015)

Figure 2. The Indonesia Drought Impact Index (IDKP) map that shows damage in the rice crops from drought period in the West Java and South Sulawesi (Source: Surmaini *et al.* 2015)

Semua kejadian tersebut akan semakin sering terjadi pada lahan sawah, yang menyebabkan berkurangnya luas areal panen dan produksi padi. Kerusakan akibat derasnya arus banjir terutama pada kejadian banjir bandang, dapat menyebabkan erosi dan penggerusan pada lahan pertanian. Selain itu curah hujan yang berlebihan dapat juga menyebabkan terjadi erosi dipercepat yang melebihi nilai erosi yang dapat ditolerir. Banjir juga dapat menambah kerusakan pada tubuh sungai itu sendiri dan infrastruktur pengairan lainnya. Selain itu banjir genangan dapat menimbulkan kerugian karena infrastruktur, menurunnya kinerja penduduk dan menurunnya kinerja kesehatan.

Kerentanan Kenaikan Muka Air Laut

Berlangsungnya pemanasan global diduga sebagai penyebab utama mencairnya es di kutub dan memuainya air laut sehingga menyebabkan terjadinya kenaikan muka air laut. Namun demikian peningkatan tinggi muka air laut dapat disebabkan oleh berbagai faktor lain baik pada skala global, regional, maupun lokal. Selanjutnya Faqih dan Boer (2013) mengemukakan bahwa untuk wilayah Indonesia terdapat kecenderungan peningkatan laju tinggi muka laut khususnya di sekitar bagian tengah dan timur Indonesia. Berdasarkan kombinasi dari berbagai setelit menunjukkan bahwa laju peningkatan tinggi muka air laut di wilayah Indonesia berada pada kisaran 0 hingga 9 mm/tahun. Sementara hasil kajian Bappenas menunjukkan bahwa pada periode 2001-2008 telah terjadi rata-rata peningkatan tinggi muka air laut di Indonesia sebesar 6 cm dengan variasi antara 2 – 12 cm

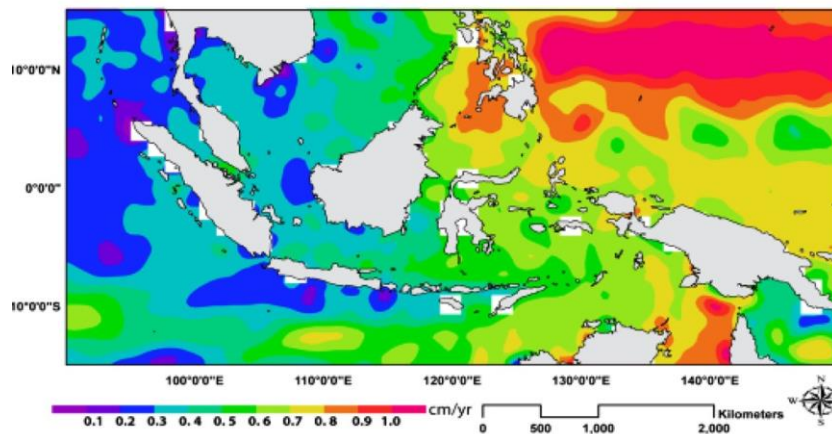
dibandingkan dengan periode sebelumnya selama 1992-2000 (Bappenas *dalam* Faqih dan Boer 2013). Kenaikan muka air laut mempertinggi risiko terjadinya erosi, perubahan garis pantai dan mereduksi daerah rawa di sepanjang pantai.

Wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil yang jumlahnya 17.000 pulau, akan menjadi sasaran utama dan terdampak langsung akibat peningkatan permukaan air laut atau rob dan intrusi air laut berupa peningkatan kadar garam (salinitas). Berdasarkan data tanah eksplorasi nasional (Puslitbangtanak 2000), landform yang akan terkena dampak kenaikan permukaan air laut dan intrusi adalah landform basin alluvial (lakustrin), delta/dataran estuarin, dataran pasang surut dan pesisir pantai, yang luasnya mencapai 12,020 juta ha atau 6,20% dari total daratan Indonesia. Daerah pesisir pantai dan dataran pasang surut menyebar hampir di seluruh Indonesia, sedangkan delta (*estuarine*) menyebar di seluruh provinsi di Kalimantan dan beberapa di Sumatera.

Tabel 2. Sebaran landform yang rentan terhadap kenaikan permukaan air laut (diolah dari Puslitbangtanak 2000)

Table 2. The distribution of landform wich are vulnerable to sea level rise (processed from Puslitbangtanak 2000)

Landform	Sub Landform	Luas	
		ha	%
Aluvial	Basin aluvial (lakustrin)	1.007.857	8,38
Fluvio-marine	Delta atau dataran estuarine	2.225.391	18,51
Marine	Dataran pasang surut	7.312.813	60,83
	Pesisir pantai	1.474.924	12,27
Total		12.020.985	100,0



Gambar 3. Tren kenaikan tinngi muka air laut, berdasarkan data altimeter dari bulan Januari 1993 sampai Desember 2009 dengan menggunakan *spatial trend analysis* (Sofian dan Nabib 2010)

Figure 3. The trend of sea level rising based on altimeter data from January 1993 to December 2009 using *spatial trend analysis* (Sofian and Nabib 2010)

KESIMPULAN

1. Akibat dari perubahan iklim adalah terjadinya iklim ekstrem yaitu kondisi iklim yang jauh berbeda dengan kondisi iklim normal. Adanya kejadian iklim ekstrem dapat menyebabkan berbagai risiko yang secara langsung berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik sumberdaya tanah/lahan dan tanaman.
2. Perubahan iklim menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik lahan yang juga menyebabkan perubahan terhadap kesesuaian lahannya. Oleh karena itu parameter-parameter yang digunakan dalam penilaian kesesuaian lahan harus sudah mengikuti dampak dari perubahan iklim.
3. Dalam menilai kelas kesesuaian lahan, unsur yang disebabkan perubahan iklim harus menjadi karakteristik lahan yang dijadikan faktor pembatas disamping faktor pembatas yang ada. Faktor-faktor tersebut adalah kerentanan kekeringan, kerentanan banjir dan kenaikan permukaan air laut (rob).

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. 290 hal.
- Bachri S, Sulaeman Y, Ropik, Hidayat H, Mulyani A. 2016. *Sistem Penilaian Kesesuaian Lahan versi 2.0/2016*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2011. *Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 67 Hal.
- Boer R, Faqih A, Ariani R. 2014. Relationship between Pacific and Indian Ocean sea surface temperature variability and rice production, harvesting area and yield in Indonesia. Paper presented in EEPSEA Conference on the Economic of the Climate Change, 27-28 Februari 2014, Siem Reap, Cambodia.
- CSR/FAO. 1983. *Reconnaissance Land Resources Survey 1:250.000 Scale. Atlas Format Procedures. Land Resources Evaluation with Emphasis on Outer Island Project*. CSR/FAO Indonesia. AGOF/INS/78/78/006, Manual 4, Version 1.
- Djaenudin D, Marwan H, Subagyo H, Hidayat A. 2003. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Balai Penelitian Tanah, Puslitbangtanak, Bogor, 154 hlm.
- FAO. 1976. *A Framework for Land Evaluation*. Soil Resources Management and Conservation Service Land and Water Development Division. FAO Soil Bulletin No. 32. FAO-UNO, Rome.
- Faqih A, Boer R. 2013. Fenomena perubahan iklim Indonesia. Dalam Soeparno *et al.* (Eds). *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*, hlm 11 – 28. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- IPCC. 2001. *Climate change 2001: Synthesis Report- Contribution of Working Groups I, II, and III to the IPCC Third Assessments Report*, pp:397. Cambridge University Press, New York. <http://www.ipcc.ch>.
- Irawan B. 2013. Dampak el Nino dan La Nina Terhadap Produksi Padibda Palawija. Dalam Soeparno *et al.* (Eds). *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*, hlm 29 – 51. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Kartiwa B, Surmaini E, Sosiawan H, Rejekiingrum P. 2013. Dampak perubahan iklim terhadap keragaan sumberdaya air. Dalam Soeparno *et al.* (Eds). *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*, hlm 95 – 108. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Oldeman LR 1975. *Agroclimatic Map Java and Madura, scale 1:1,000,000*. Central Research Institute of Agriculture, Bogor Indonesia.
- Puslitbangtanak. 2000. *Atlas Peta Sumberdaya Lahan/Tanah Eksplorasi Indonesia 1:1.000.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. 37 hlm.
- Runtuwuwu E. 2013. *Basis data iklim pertanian Indonesia untuk mendukung adaptasi perubahan iklim*. Dalam Soeparno *et al.* (Eds). *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*, hlm 114 – 135. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Ritung S, Nugroho K, Mulyani A, Suryani E. 2011. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Edisi Revisi 2011. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 166 hlm.
- Ritung S, Sukarman. 2014. Kesesuaian lahan gambut untuk pertanian. Dalam Agus *et al.* (eds) *Lahan Gambut Indonesia, Pembentukan, Karakteristik dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Hlm. 61- 83.
- Rossiter DG, van Wambake AR. 1997. *Automated Land Evaluation System ALES Version 4.65d. User Manual*. Dept. of Soil, Crop & Atmospheric Sci. SCAS. Cornell University Ithaca NY, USA.
- Soeprapohardjo, M. 1970. *Suatu Tjara Penilaian untuk Klasifikasi Kemampuan Wilayah*. Lembaga Penelitian Tanah dan Pemupukan. Bogor. 10 h + 1 lampiran.
- Sofian I, Nahib I. 2010. *Proyeksi kenaikan tinggi muka laut*. *Globe Volume 12 No.2 Desember 2010* :173-181.
- Staf Peneliti Pusat Penelitian Tanah. 1983. *Klasifikasi Kesesuaian Lahan*. Lampiran Terms of Reference. Proyek Penelitian Pertanian Menunjang Transmigrasi (P3MT). No. 29b/1983. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Sudirman, Sinukaban N, Suwarjo H, Arsyad S. 1986. *Pengaruh tingkat erosi dan pengapuran terhadap produktivitas tanah*. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 6:9-14.

- Sukarman, Bachri S, Wiganda S. 1998. Karakteristik tanah salin dan kualitas air irigasi di Dataran Mbay, Flores Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim* No. 16, 1998 : 10 – 20.
- Sukarman. 2015. Evaluasi lahan sebagai instrumen perencanaan pembangunan pertanian berbasis ekoregional. *Dalam* Pasandaran *et al.* (eds) *Pembangunan Pertanian Berbasis Ekoregional*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Hlm. 140-153.
- Surmaini E, Subagyono K, Hadi TW. 2015. Peta dampak bencana kekeringan pada tanaman padi sawah di Indonesia. *Dalam* Rejekiningrum *et al.* (Eds). *Prosiding Seminar Nasional : Sistem Informasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Mendukung Swasembada Pangan*, hlm 209 – 218. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sutrisno N, Pasandaran E, Pujilestari N. 2013. Antisipasi perubahan dan keragaman iklim terhadap pergeseran siklus hidrologi dan sistem pertanian Indonesia. *Dalam* Soeparno *et al.* (Eds). *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*, hlm 170 – 194. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Van Wambeke A, Forbes T. 1986. Guidelines for Using Soil Taxonomy in The Names of Soil Map Units. Soil Management Support Service, Technical Monograph No. 10. Soil Conservation Service-USDA.
- Wahyunto. 2005. Lahan sawah rawan kekeringan dan banjir di Indonesia. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Wood SR, Dent FJ. 1983. LEC A Land Evaluation Computer System Ministry of Agriculture, Government of Indonesia. Publication AGOF/INS/006/Manual 5 (Methodology) and 6 (User manual), Bogor. Indonesia.
- Yustika RD, Agus F. 2014. Peran Konservasi Tanah Dalam Beradaptasi Terhadap Perubahan Iklim. *Dalam* Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan kementerian Pertanian, Kementerian Pertanian, hlm 1 – 30.